بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱-۲۵۵۵-۱۰-A

بررسی پارامترهای لیزری در جوش‌کاری صفحات ضخیم فولادی با لیزر فیبر توان بالا

محمدجواد سبحانی، علی چهرقانی، محمدجواد ترکمنی، سید حسن نبوی

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران(sajem.physics@gmail.com)

چکیده –در جوش‌کاری لیزری انواع ورق‌های فولادی با ضخامت بیش از ۲ میلی‌متر لازم است از لیزرهای پیوسته و توان بالا برای حفظ دوام سوراخ‌کلیدی در عمق قطعه کار استفاده شود.به دلیل ضخامت بالای ورقو افزایش توان ورودی که با ناپایداری ذاتی سوراخ‌کلیدی همراه است، عیوبی مانند افت و خیز سطح جوش و تخلخل در عمق جوش افزایش پیدا می‌کند و منجر به کاهش خواص مکانیکی آن می‌گردد.بنابراین دستیابی به پارامترهای مناسب جهت کاهش این عیوب ضروری است.در این مقاله تاثیر پارامترهای توان، اندازه لکه، سرعت جوش‌کاری و فاصله بین دو صفحه در جوش‌کاری لب‌به‌لب ورق‌های فولادی به ضخامت ۵ میلی-متر با استفاده از لیزر فیبر ۳کیلووات بررسی شده است.

کلید واژه- پارامترهای لیزری، جوش‌کاری لیزری،ورق فولاد st52،لیزر فیبر 3-kW.

Investigation of Laser Parameters in Laser Welding of Thick Steel Sheets by High Power Fiber Laser

M.J. Sobhani, A. Cherghani, M.J. Torkamany, S.H. Nabavi

Iranian National Center for Laser Science and Technology (sajem.physics@gmail.com)

In laser welding of steel plates for more than 2mm in thickness, it is necessary to use high-power continuous-wave lasers to maintain the keyhole in the depth of the workpiece. Due to high thickness of the sheets and increase in the input power, defects e.g. underfill, root humping, and porosity in the weld depth will increase, lead to inhomogeneity of the weld, and reduce its mechanical properties. Therefore, determination of appropriate laser parameters is highly effective and plays a crucial role in reducing those defects. In this paper, the effect of laser parameters such as its power, welding speed, beam diameter, and the gap between two plates in butt welding of the 5mm-thick steel plates has been investigated using a 3-kW fiber laser.

Keywords: 3-kW Fiber Laser, St-52 steel sheet, Laser Parameter, Laser Welding.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

مقدمه

اتصال صفحات و ساختارهای ضخیم در صنایع گوناگونی مانند فولادسازی، کشتی‌سازی، خطوط تولید لوله و صنایع انرژی به طور گسترده‌ای به کار گرفته می‌شود. فرآیندهای متداول برایاتصال این سازه‌های ضخیم عبارتند از جوش قوس الکتریکی، جوش پرتوی الکترونی و جوش پرتوی لیزری. بازدهی محدود، سرعت پایین، عدم یکنواختی در شکل جوش و نیاز به چندین عبور خط جوش از معایب جوش های متداول مانند قوس الکتریکی هستند. در دهه-های گذشته جوش پرتوی الکترونی و لیزری به دلیل بازدهی بالا، یکنواختی شکل جوش و باریک بودن عرض آن، کاربرد بیشتری در صنایع پیدا کردهاست. از طرفی جوش پرتوی الکترونی برای اتصال سازه‌های بزرگ به اتاق یا اتاقک خلاء نیازمند است. ازین رو جوش پرتوی لیزری نسبت به این دو روش، برتری بسیاری دارد [۱].

جوش‌کاری لیزری ورق‌هایفولاد در خطوط تولید و در فرآیند نَورد امری بسیارکاربردی می‌باشد. در این فرآیند معمولا از لیزرCO_2 به دلیل توان بالا و کیفیت پرتو بسیار مطلوب، استفاده می‌شود.یکنواخت بودن شکل جوش بدون هیچ‌گونه پستی و بلندی، پارامتری کلیدی در فرآیند نَورد می‌باشد و موجب افزایش طول عمر خط نَورد می-گردد.بدین منظور، پس از بهینه‌سازی پارامترهای جوش، با استفاده از سیستم غلتک در دو سطح بالایی و پایینی جوش،برآمدگی‌هاحذف شده و سطح جوش هموار می-گردد[۲و۳].در ده‌های اخیر، در میان لیزرهای توان بالا، لیزرهای فیبر و دیسک به دلیل عمق نفوذ زیاد و سرعت جوش‌کاری بالا در فلزات مختلف،به‌صورت گسترده به کار گرفته می‌شود[۴]. کیفیت پرتو، بازدهی بالا و امکان انتقال باریکه لیزر به وسیله فیبر قابل حمل،دیگر ویژگی‌هایی هستند که باعث توسعه بیشتر این لیزرهاشده است [۵].از مزایای استفاده از لیزر فیبر (طول موج 1μm) نسبت به لیزرCO_2 (طول موج10μm)، پهنای جوش باریک‌تراست. همچنین در صورتیکه از جوش‌کاری با طول موج 10μmاستفاده گردد، میزان مواد مذاب پاشیده شده بیشتر خواهد گردید[۶].

مواد و روش تحقیق

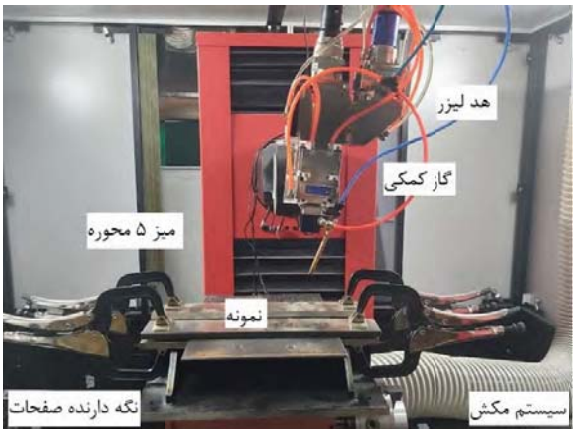
در این تحقیق با استفاده از لیزرفیبر پیوسته مالتی مُد، مدلYFL-3000-MM با دمش دیودی، بیشینه توان3000Wو طول موج 1080nm، جوش‌کاری ورقه‌های فولاد ساده کربنی به ضخامت 5mm انجام شده است. کیفیت پرتو (M^2)این لیزر کوچک‌تر از 20 می‌باشد. چیدمان لیزری مطابق شکل (۱) و نمونه با توان‌های 2400-2600W تابش‌دهی شده‌اند. فاصله کانونی سیستم اپتیکی برابر با 75mm و نمونه در ارتفاع‌های 75-77mm قرار داده شده‌اند. برای جابه‌جایی نمونه‌ها در سرعت‌های مختلف، از میز متحرک ۵ محوره استفاده شده است. برای محافظت از جوش و جلوگیری از اکسید شدن آن، گاز آرگون با خلوص 99.995 و با سرعت شارش 10lit/min برروی نمونه جریان دارد. برای تهیه تصاویر نیز از میکروسکوپ نوری استفاده گردیده است. در فرآیند جوش‌کاری لیزری پارامترهای متعددی وجود دارند و بهینه‌سازی هریک از آن‌ها موجب بهبود کیفیت جوش می‌گردد. توان لیزر و اندازه لکه (چگالی توان)،سرعت حرکتو فاصله بین دو لبه ورق (گپ)، پارامترهایی هستند که در اینپژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند.هدف از این مطالعه دستیابی به پارامترهای بهینه لیزری برای حذف فرورفتگی و برآمدگیدر دو سطح بالایی و پایینی خط جوش می‌باشد، به طوری که سطح همواری در شکل جوش حاصل شود. همچنین به منظور بررسی استحکام جوش‌های ایجاد شده، از دستگاه تست اریکسون استفاده شده است.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

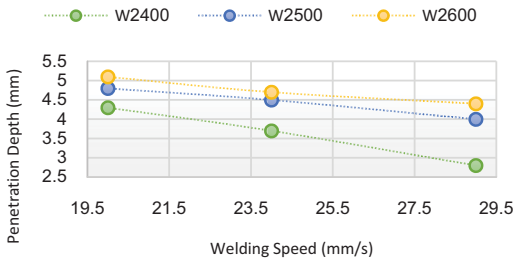
نتایج و بحث

(الف) تعیین پارامترهای جوش‌کاری برای دستیابی به نفوذ کامل پرتو در ورق 5mm

برای دستیابی به عمق جوش مناسب در ورق 5mm ابتدا می‌بایست پارامترهایی برای این فرآیند تعیین شود. بدین منظور با استفاده از ورق با ضخامت بیشتر از 5mm و از همان جنس، عمق نفوذ پرتو با توان و سرعت‌های متفاوت اندازه‌گیری شده‌اند. این قسمت از آزمایش به صورت جوش برروی تک ورق انجام شده است. در نمودار شکل (۲) نتایج این بخش مشاهده می‌شود. از این نمودار می‌توان دریافت که برای دستیابی به عمق نفوذ 5mm، توان‌های بالای 2500W و سرعت‌های کمتر از 25mm/s مورد تایید می‌باشند.



شکل ۱: چیدمان آزمایشگاهی جوش‌کاری با لیزر فیبر 3-kW.



شکل ۲: میزان عمق نفوذ پرتو لیزر بر حسب سرعت به صورت bead on plate و در توان‌های 2400, 2500, 2600W.

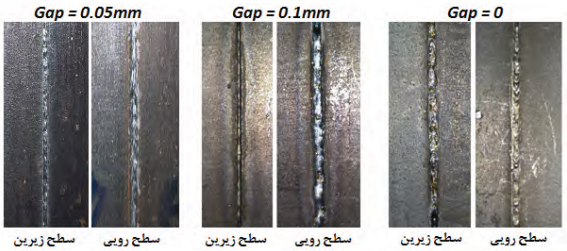
(ب) بهینه‌سازی پارامترهای لیزری برای حذف فرورفتگی و برآمدگی حاصل از جوش‌کاری

برای دست‌یابی به جوش لیزری با کیفیت مناسب، تنظیم باریکه لیزری روی لبه‌های ورق به درستی انجام گردید.همچنین برای کاهش حساسیت سیستم وبهبود کیفیت جوش از "گپ" بین لبه‌ها استفاده می‌شود.پساز دستیابی به سرعت و چگالی توان مناسب، نقش گپ در بین دو لبه‌ی ورق‌ها بررسی و پارامترهای نهایی، بهینه-سازی شده است. میزان گپ نیز در دو مرحله، به مقدار 50 و 100 میکرومتر درنظر گرفته شده است. در جدول (۱) پارامترهای آزمایش برای بهینه‌سازی فرآیند جوش‌کاری گردآوری شده است.نتایج نشان می‌دهند زمانی که جوش-کاری لیزری "بدون گپ" انجام می‌شود،برآمدگی سطح جوش در بالا تقریبا حذف می‌گردد ولی ریشه جوش در پایین افزایش می‌یابد. هنگامی‌که گپ افزایش می-یابد(100µm)، اثر فرورفتگی در سطح بالایی افزایش می-یابد. بنابراین یافتن میزان گپ مناسب برای رفع این عیوب بسیار مهم است. در این آزمایش گپ 50µm کمک شایانی برای بهبود کیفیت جوش نمود. همچنین برای حذف فرورفتگی نیزمی‌توان از سرعت‌های بالاتر بهره برد. در شکل (۳) تصاویر مربط به تغییرات گپ گردآوری شده است.

Sample	H (mm)	P (W)	PD (kW/mm²)	V (mm/s)	Gap (mm)
1	75	2600	115	24	0
2				29	
3				24	0.05
4				29	
5				24	0.1
6				29	
7	77	2600	41	24	0
8				29	
9				24	0.05
10				29	
11				24	0.1
12				29	

جدول ۱: شرایط جوش‌کاری لب به لب فولاد ساده کربنی به ضخامت 5mm.

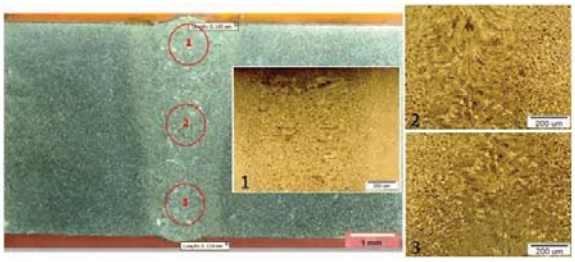
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.



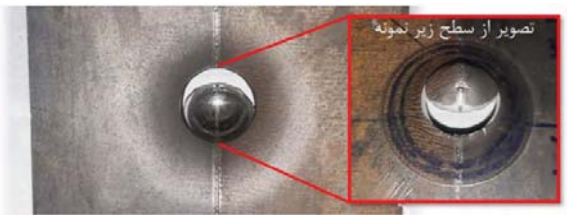
شکل ۳: تاثیر پارامتر گپ برروی شکل جوش. نمونه‌ها به ترتیب از راست به چپ ۷، ۱۱ و ۹ متناظر با جدول ۱.

(ج) بررسی میکروساختاری جوش

در شکل (۴) تصاویر میکروساختاری از جوش لیزری تهیه شده است.همان‌گونه که در تصاویر مشاهده می‌شود، مقاطع جوش کاری دارای ساختارهای فریتی-پرلیتیمی- باشند. با توجه به تصاویر، مشاهده می‌شودکه تقارنجوش به طور کامل حفظ شده و برآمدگی در هر دو سطحجوش کمتر از 150µm می‌باشد. بنابراین شکل جوش تا حد قابل قبولییکنواخت می‌باشد.در نهایت برای بررسی استحکام جوش، تست اریکسون انجام گردید. در شکل (۵) مشاهده می‌شود که جدا شدگی صفحه از خط جوش نمی‌باشد و استحکام جوش مورد تایید است.



شکل ۴: تصاویر میکروساختاری از جوش ورق فولاد 5mm (نمونه ۹).



شکل ۵: تست اریکسون از جوش نمونه ۹ متناظر با جدول ۱.

نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از لیزر 3-kW فیبر، جوش‌کاری صفحات 5mm فولاد ساده کربنی انجام شد. شرایط بهینه برای حذف فرورفتگی و برآمدگی ناشی از جوش عبارتند از P=2600W, H=77mm, V=24mm/s, PD=41kW/mm^2, Gap=0.05mm. باتوجه به نتایج آزمایش، گپ 100µmبرای این نوع جوش‌کاری زیاد است و موجب افزایش فرورفتگی درسطح بالای جوش می‌گردد. گپ صفر نیز منجر به کاهش برآمدگی سطح بالا و افزایشبرآمدگی پایین می‌گردد. در گپ50µmایدآل‌ترین فاصله برای هموار نمودن سطح جوش می‌باشد.

مرجع‌ها

[1] Zhang M, Chen G, Zhou Y, Liao S. Optimization of deep penetration laser welding of thick stainless steel with a 10 kW fiber laser. Materials & Design. 2014 Jan 1;53:568-76.

[2]Kido M, Sugihashi A, Yamamoto H, Maeda K, Hamada N, Minamida K, Kikuma T. Development of 45kW Laser Welding System for Continuous Finish-Rolling. SHINNITTETSU GIHO. 2003:80-3.

[3]Lienert T, Siewert T, Babu S, Acoff V. Roll Welding and Laser Roll Welding.

[4]Zhang X, Ashida E, Katayama S, Mizutani M. Deep penetration welding of thick section steels with 10 kW fiber laser. Quarterly Journal of the Japan Welding Society. 2009;27(2):64s-8s.

[5] Kawahito Y, Mizutani M, Katayama S. High quality welding of stainless steel with 10 kW high power fibre laser. Science and Technology of Welding and Joining. 2009 May 1;14(4):288-94.

[6] Frostevarg J. Factors affecting weld root morphology in laser keyhole welding. Optics and Lasers in Engineering. 2018 Feb 1;101:89-98.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.